

# RAGAM PATAH SPESIMEN TARIK BERTAKIK BUSUR LINGKARAN PADA BAHAN CFRP SERAT SEARAH

## Pengaruh rasio ketebalan (kedalaman takik)

Heru Santoso B. Rochardjo<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*Tensile tests were carried out on unidirectional CFRP to observe the effects of specimen geometry on fracture mode of the circular necked specimen. Necked-on-thickness specimens having various thicknesses of the necked region with constant radius of curvature were tested. The results show that, as the thickness ratio between the necked and un-necked region increases a transition in fracture mode from tensile failure at the necked region to interlaminar shear failure spreading to the outside of the necked region before final fracture was observed. This transition is attributed to the change in the relation between shear fracture load and tensile fracture load with changing thickness ratio.*

### 1. PENGANTAR

Serat karbon adalah serat yang mempunyai kekuatan tarik tinggi, dengan bobot yang ringan. Dengan kata lain kekuatan spesifiknya, yaitu kekuatan tarik dibagi berat jenisnya, tinggi yaitu bisa sekitar 2800 m. Bandingkan dengan bahan konvensional, misalnya baja paduan, yang hanya mempunyai kekuatan tarik spesifik sekitar 500 m. Karena itu bahan komposit yang mengandung serat jenis ini termasuk kedalam bahan yang disebut bahan komposit lanjut (*advanced composite*). Tetapi kekuatan tarik yang tinggi ini mendatangkan kesulitan pada pengujian bahan komposit serat searah, karena sifatnya yang sangat anisotropik dimana kekuatan pada arah sejajar serat sangat tinggi sedangkan kekuatan pada arah tegak lurus serat sangat rendah. Hal ini menyebabkan spesimen patah dengan ragam dan tempat patah yang tidak diinginkan. Beberapa pengujian dengan spesimen plat datar seperti dilakukan beberapa peneliti (misalnya Madhukar, 1991) memberikan hasil bahwa kebanyakan spesimen patah pada daerah tab di bawah pencekam. Kondisi ini menunjukkan adanya pengaruh proses pencekaman pada spesimen. Berdasarkan analisis dengan metoda elemen hingga, Uemura (Uemura, 1976) menunjukkan bahwa pada daerah di sekitar pencekam timbul konsentrasi tegangan yang besar.

Jadi, persoalannya adalah menentukan bentuk spesimen sedemikian sehingga bisa mengurangi sejauh mungkin tegangan-tegangan yang tidak dikehendaki, sehingga spesimen patah di tempat yang diinginkan, yaitu pada daerah uji. Karena itu beberapa

<sup>1</sup> Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

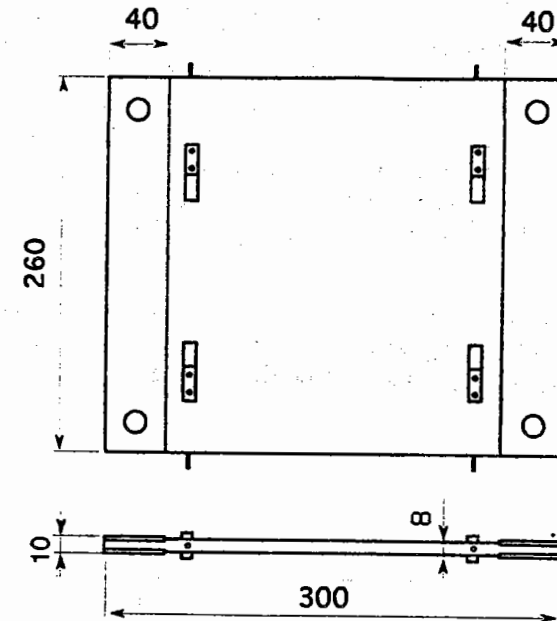
peneliti mengusulkan bentuk spesimen yang mengecil di tengah (Dharan, 1975, Oplinger, 1985, dan Cunningham, 1985). Tujuannya adalah pertama, melokalisasi tempat patah dan yang kedua untuk mendapatkan suatu bentuk patahan yang bisa di amati untuk mempelajari mekanisme patahan. Namun demikian, bentuk spesimen ini tidak selalu berhasil memberikan ragam patah yang diinginkan. Dharan (1975) menyatakan bahwa dengan memakai spesimen berbentuk streamline akan memberikan ragam patah yang dikehendaki, sedangkan Oplinger (1985) dan Cunningham (1985) menggunakan spesimen yang dicetak secara khusus. Tetapi pembuatan spesimen yang demikian itu tentu sulit dilaksanakan dan memerlukan alat khusus.

Pada penelitian sebelumnya Heru (1995) telah menyelidiki ragam patah dari beberapa bentuk spesimen yaitu spesimen plat datar, spesimen yang dibuat takik berbentuk busur lingkaran pada arah tebal dan spesimen dengan takik pada arah lebar spesimen. Dari sini didapat kesimpulan bahwa pada spesimen plat datar, pengaruh tekanan pencekam pada spesimen tidak dapat dihindari karena selalu terjadi kegagalan pada pelekatan tab. Pada spesimen bertakik, pemberian takik busur lingkaran pada arah lebar tidak memberikan hasil pengujian yang diinginkan. Kerusakan geser yang merambat sampai ke daerah tab menyebabkan spesimen patah karena pengaruh pencekam. Sebaliknya, dengan takik pada arah tebal, bisa didapatkan patahnya spesimen pada tengah-tengah takikan. Namun demikian, ada pula spesimen jenis ini yang patah di tempat lain. Karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai ragam patah pada spesimen jenis ini.

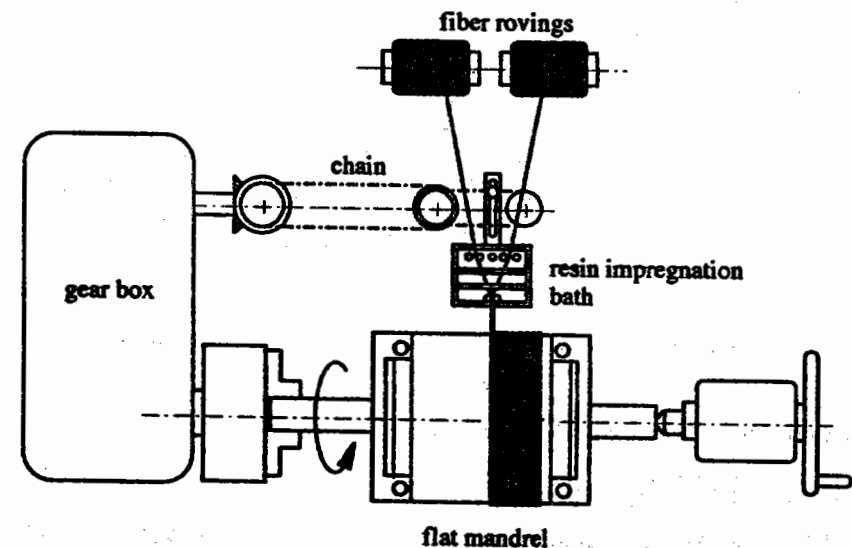
Tulisan ini menyajikan hasil penelitian mengenai ragam patah dan hasil uji dari spesimen dengan takik berbentuk busur lingkaran di kedua sisi tebal untuk melihat pengaruh geometri spesimen, yaitu kedalaman takikan terhadap ragam patah. Bagian berikutnya akan membahas pengaruh fraksi volume serat dan temperatur uji.

## 2. BAHAN DAN CARA PENELITIAN

Bahan yang dipakai pada penelitian ini adalah serat karbon jenis PAN based produksi TORAY, yaitu TORAYCA 300. Serat ini mempunyai kekuatan tarik sebesar  $360 \text{ kgf/mm}^2$ . Matriksnya adalah resin dari jenis polyester yaitu Ripoxy R-802 produksi Showa High Polymer. Kekuatan tarik bahan ini adalah  $7.7 \text{ kgf/mm}^2$ . Plat CFRP serat searah dibuat dengan cara *filament winding* menggunakan mandrel berbentuk plat seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pembuatannya adalah sebagai berikut. Serat karbon dibasahi resin dengan cara dilewatkan suatu mangkuk berisi resin (*resin bath*). Serat yang sudah basah ini kemudian digulung pada mandrel plat datar dengan cara memutar mandrel dengan mesin pemutar (gambar 2). Setelah didapatkan jumlah lilitan tertentu, yang tergantung fraksi volume serat yang dikehendaki, mandrel yang sudah ada seratnya ini kemudian ditekan dengan tekanan 3 MPa pada temperatur yang dijaga tetap yaitu  $60^\circ\text{C}$ , sedangkan ketebalannya dikontrol dengan menyisipkan spacer yang tebalnya 1 mm. Setelah dilepas dari mandrel, plat CFRP ini kemudian di *after cure* pada temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam untuk menyempurnakan proses *cross linking* dari matriks resin. Dengan cara ini dibuat plat CFRP dengan beberapa variasi fraksi volume serat. Fraksi volume diukur dengan perbandingan berat jenis.



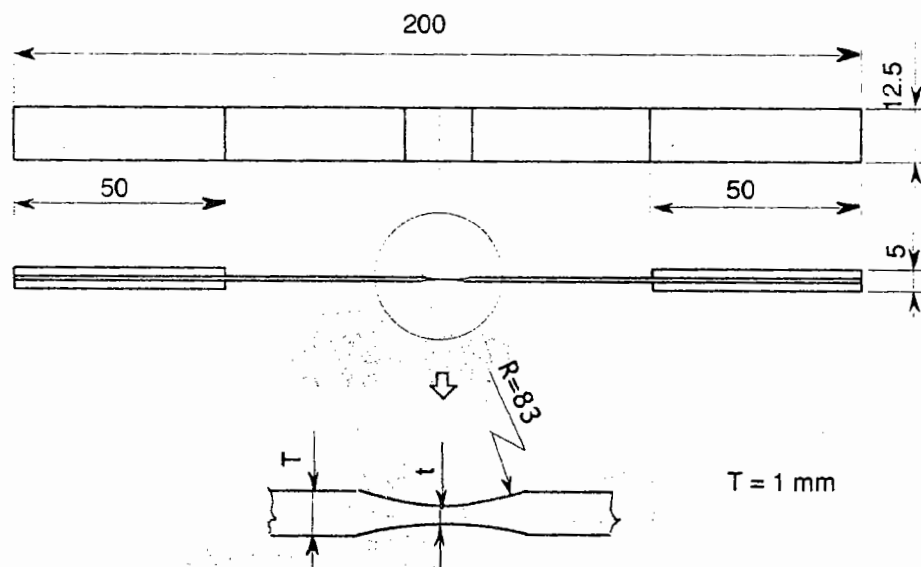
Gambar 1. Bentuk dan ukuran Mandrel



Gambar 2. Diagram yang menunjukkan proses Filament Winding

Spesimen dibuat dengan memotong plat CFRP, dengan pengiris berlapis intan, searah serat dengan lebar 12,5 mm. Kemudian pada masing-masing spesimen dibuat takik berbentuk busur lingkaran pada kedua sisinya dengan mesin gerinda. Pemotongan selalu dilakukan dengan pendingin air agar sifat bahan terutama matriksnya tidak berubah karena timbulnya panas pada proses pemotongan. Beberapa variasi ukuran, yaitu perbandingan tebal bagian yang diberi takik ( $t$ ) dengan yang tidak ( $T$ ) dibuat. Kemudian pada masing-masing spesimen dilekatkan tab aluminium yang tebalnya 1 mm dengan lem. Bentuk dan ukuran spesimen ditunjukkan pada gambar 3. Perlu dicatat, bahwa pada semua spesimen, radius lingkaran (yang besarnya sama dengan jari-jari batu gerinda) tetap, yaitu = 83 mm.

Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik Shimadzu. Bentuk patahan di rekam dengan foto makro. Hasil percobaan, kemudian dibandingkan dan di analisa dengan analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga.



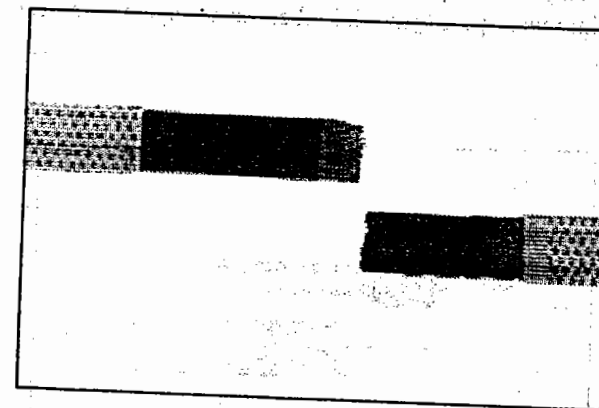
Gambar 3. Bentuk dan Ukuran Spesimen (satuan dalam mm)

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Macam-macam ragam patah

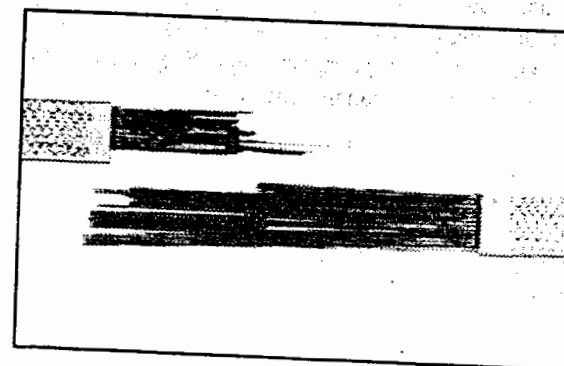
Pengujian tarik dilakukan pada lebih dari 30 spesimen dengan berbagai macam ukuran kedalaman takik, yang dalam hal ini diungkapkan dalam bentuk perbandingan antara tebal bagian yang terkecil ( $t$ ) dibanding dengan tebal plat mula-mula ( $T$ ), yaitu  $t/T$ .

Selanjutnya, harga  $t/T$  ini disebut rasio ketebalan. Berbagai ragam patah yang terjadi, dapat diwakili oleh tiga macam ragam patah seperti diperlihatkan pada gambar 4 sampai 6. Pada gambar-gambar tersebut, fraksi serat adalah sama, yaitu  $V_f = 57\%$ .



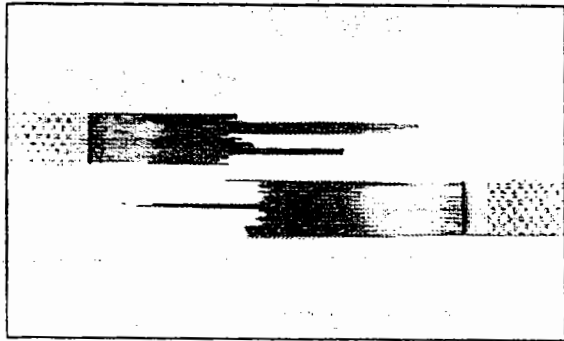
Gambar 4. Ragam patah tarik, type A  
 $t/T = 0,24$ ,  $V_f = 57\%$

Pada gambar 4, diperlihatkan ragam patah pada spesimen dengan rasio ketebalan  $t/T = 0,24$ . Dari sini dapat dilihat bahwa spesimen cenderung patah pada ragam tarik di tengah-tengah takikan. Pada spesimen tidak terlihat adanya kerusakan geser. Ragam patah jenis ini diberi nama ragam patah tarik yang diberi simbol tipe A. Pada harga  $t/T$  yang semakin besar, sebelum patah spesimen mengalami kerusakan geser dimulai dari daerah bertakik kemudian meluas ke daerah di luar takik bahkan sampai ke daerah tab.



Gambar 5. Ragam patah geser, type B  
 $t/T = 0,74$ ,  $V_f = 57\%$

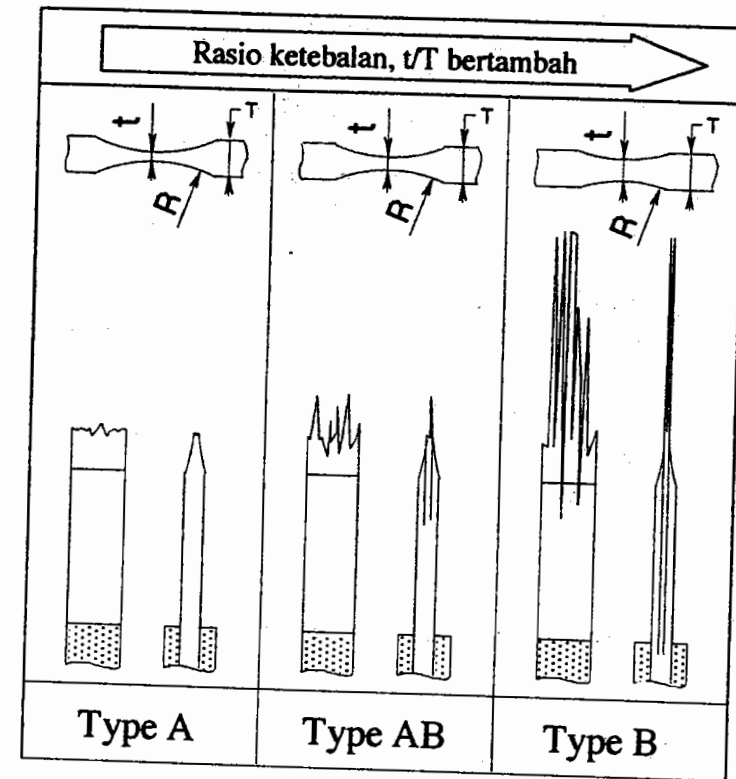
Pada gambar 5, harga  $t/T = 0.74$  memberikan ragam patah dimana retak geser mencapai tab dan tekanan dari pengecam mempengaruhi patahnya spesimen. Ragam patah jenis ini diberi nama ragam patah geser atau tipe B. Pada gambar 6, spesimen patah pada daerah antara tab, tetapi terjadi pula kerusakan geser, jadi terjadi campuran antara geser dan tarik. Karena itu ragam patah jenis ini diberi nama ragam patah campuran yaitu tipe AB.



Gambar 6. Ragam patah campuran, type AB

$t/T = 0,31$ ,  $V_f = 57\%$

Ragam patah seperti di atas dapat dirangkum dalam gambar 7. Dari sini dapat dilihat, bahwa semakin besar rasio ketebalan,  $t/T$ , ragam patah spesimen bergeser dari ragam patah tarik ke ragam patah geser. Ragam patah tipe A adalah yang paling diharapkan, karena tidak ada pengaruh tegangan-tegangan lain yang mengganggu hasil pengujian. Jika dilihat dari ada tidaknya pengaruh pengecam, maka ragam patah tipe AB masih bisa dianggap sah (valid), tetapi ragam patah tipe B sudah tidak sah lagi karena spesimen patah dibawah pengaruh tekanan pengecam.

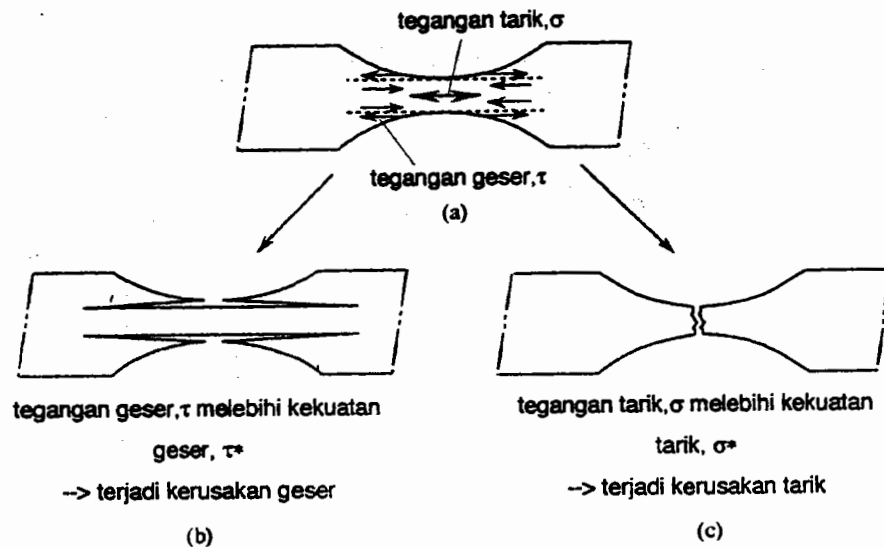


Gambar 7. Pengaruh rasio ketebalan,  $t/T$  terhadap ragam patah

### 3.2 Analisis terjadinya perubahan ragam patah

Perubahan ragam patah yang terjadi dapat dijelaskan dengan membandingkan kekuatan bahan, dengan tegangan-tegangan yang terjadi pada saat spesimen ditarik. Pada saat pengujian, timbul tegangan tarik searah sumbu spesimen dan tegangan geser diantara lapisan serat pada spesimen. Kondisi keduanya dapat digambarkan secara skematis pada gambar 8.

Jika tegangan geser lebih dahulu melampaui kekuatan geser bahan, maka akan terjadi kerusakan geser, seperti pada gambar 8 (b). Sebaliknya, jika yang lebih dulu tercapai adalah kekuatan tarik, maka akan terjadi kerusakan tarik (gambar 8 (c)). Untuk mengungkapkan kapan yang lebih dahulu terjadi dari kedua kondisi di atas, maka di sini kekuatan dan tegangan diungkapkan dalam bentuk beban patah dari spesimen. Jadi beban patah geser,  $P_t$ , adalah beban yang menyebabkan terjadinya patah geser dan  $P$  adalah untuk beban patah tarik. Maka spesimen akan patah tarik (ragam patah A) jika beban patah tarik lebih kecil daripada beban patah geser. Jadi spesimen akan patah tarik jika :



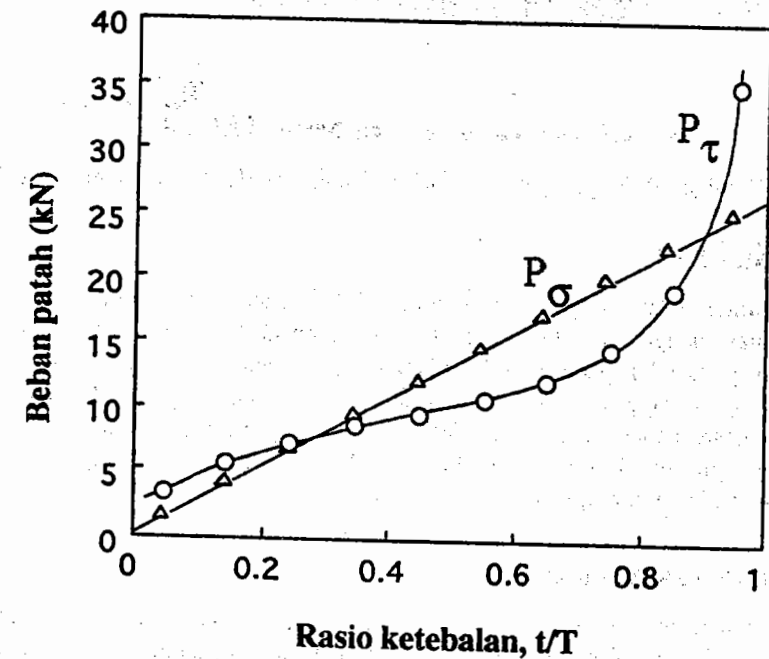
Gambar 8. Kondisi tegangan pada saat spesimen ditarik (a) dan kemungkinannya terjadi kerusakan; (b) karena geser dan (c) karena tarik

$$P\sigma < P\tau \quad (1)$$

dan spesimen akan patah geser jika :

$$P\sigma > P\tau \quad (2)$$

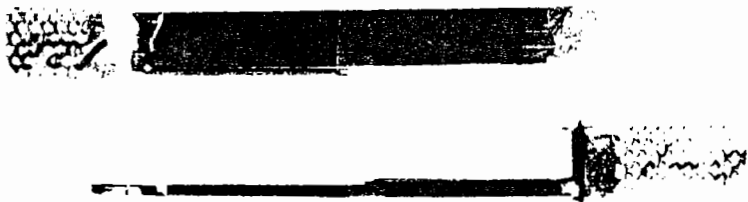
Dari hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa ragam patah spesimen bergeser dari ragam patah tarik pada harga  $t/T$  kecil ke ragam patah geser pada harga  $t/T$  besar. Jika hasil pengujian ini dihubungkan dengan kedua kondisi yang ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2), dapat dikatakan bahwa untuk harga  $t/T$  berubah dari kecil ke besar hubungan antara  $P\tau$  dan  $P\sigma$  juga berubah dari kondisi persamaan (1) ke persamaan (2). Untuk melihat perubahan tersebut, dilakukan perhitungan dengan menggunakan metoda elemen hingga. Dalam perhitungan ini sifat-sifat bahan yang dimasukkan ke dalam perhitungan yaitu  $E1$ ,  $E2$ ,  $\nu12$ ,  $\nu23$ ,  $G13$  dan kekuatan geser  $\tau^*$  serta kekuatan tarik  $\sigma^*$ , didapatkan dari hasil percobaan (Detil dari perhitungan ini akan dilaporkan pada tulisan yang lain).



Gambar 9. Perubahan hubungan antara  $P\tau$  dan  $P\sigma$  dengan bertambahnya rasio ketebalan  $t/T$

Gambar 9 adalah hasil perhitungan  $P\tau$  dan  $P\sigma$  pada harga  $t/T$  yang berubah dari 0,05 sampai 0,95. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada harga  $t/T$  kecil (lebih kecil dari 0,3) kurva  $P\tau$  berada di atas kurva  $P\sigma$ , yaitu berlaku persamaan (1). Jadi, untuk radius kelengkungan yang dipakai pada penelitian ini (yaitu  $R = 83$  mm dan tebal spesimen = 1 mm) jika spesimen diberi takik busur lingkaran dengan harga  $t/T$  lebih kecil dari 0,3 maka bisa diharapkan spesimen akan patah pada ragam patah tipe A. Pada harga  $t/T$  yang lebih tinggi, ada dua kondisi yaitu untuk  $0,3 > t/T > 0,9$  berlaku persamaan (2) sedang  $t/T > 0,9$  kembali pada kondisi persamaan (1). Pada daerah dimana berlaku  $0,3 > t/T > 0,9$  spesimen akan patah pada ragam patah geser (tipe B). Kedua kondisi ini sesuai dengan hasil percobaan (gambar 4 - 6).

Pada harga  $t/T > 0,9$  mestinya tidak akan terjadi kerusakan geser karena berlaku persamaan (1). Tetapi apakah terjadi ragam patah tarik? Untuk mengetahuinya, dibuat spesimen khusus dengan rasio ketebalan yang besar (dengan gerinda dihasilkan spesimen dengan  $t/T = 0,92$ ), kemudian diuji. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 10. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa spesimen patah seperti halnya pada spesimen plat datar yang tidak diberi takik (Heru, 1995). Jadi takikan yang dangkal tidak mempengaruhi ragam patah.



Gambar 10. Ragam patah spesimen dengan rasio ketebalan mendekati 1

#### 4. KESIMPULAN

Kesulitan dalam pengujian tarik komposit lanjut serat searah pada arah sejajar serat, dapat diatasi dengan memberi takik berbentuk busur lingkaran dengan perbandingan ketebalan, yaitu tebal pada bagian takik dibanding tebal mula-mula, yang cukup kecil. Besarnya harga yang tepat dari rasio ketebalan ini tergantung pada kekuatan tarik dan kekuatan geser bahan yang diuji. Untuk bahan yang diuji pada penelitian ini, dengan tebal plat 1 mm dan jari-jari kelengkungan takik = 83 mm, maka harga rasio ketebalan yang sesuai adalah kurang dari 0,3.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Masao Shimizu, Prof. Dr. Yasushi Miyano dan Dr. Jun Komotori atas saran dan diskusi yang sangat berharga untuk tulisan ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Showa High Polymer Co. yang menyediakan bahan untuk penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Cunningham, M. E., *et. al.*, ASTM STP 864 (1985), hal. 253
- Dharan C. K. H., *Fatigue Failure Mechanisms in a Unidirectionally Reinforced Composite Materials*, Fatigue in Composite Materials, ASTM STP 569, (1975), hal. 171-178
- Heru Santoso B. Rochardjo, Komotori J, Shimizu M., Miyano Y, *Effects of Specimen Configuration on Tensile Fracture Mechanism of Unidirectional CFRP* (Bahasa Jepang), Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Seri A, Vol. 61, No. 582, hal. 103 - 318.
- Madhukar MS, Drzal LT, *Fiber-Matrix Adhesion and Its Effects on Composite Mechanical Properties : Part II Tensile Behavior of Graphite/Epoxy Composite*, Journal of Composite Materials, Vol. 25 (1991), hal. 958 - 991
- Oplinger, D. W., *et.al.*, ASTM STP 864, (1985), hal. 532
- Uemura M, Iyama H, Yamaguchi Y., *Discussion on Tensile Testing Method of Unidirectional Carbon-fiber Reinforced Plastics Materials* (Bahasa Jepang), Japan Society of Composite Materials, Vol. 2, No. 1, (1976), hal. 20 - 26.